第 38 卷第 6 期 生 态 学 报 Vol.38,No.6
2018 年 3 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Mar.,2018

DOI: 10.5846/stxb201702220295
苏王新,孙然好.中国典型城市群城镇化碳排放驱动因子.生态学报,2018,38(6):1975-1983.
Su W X, Sun R H.Carbon emissions from urbanization in typical urban agglomerations of China: Spatial patterns and drivers.Acta Ecologica Sinica,2018,38(6):1975-1983.

中国典型城市群城镇化碳排放驱动因子

苏王新[1,2],孙然好[1,*]
1 中国科学院生态环境研究中心,城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085
2 桂林理工大学旅游学院, 桂林 541004

摘要:城市群作为推进国家新型城镇化的战略举措,是国家参与全球竞争与国际分工的主要地域单元。以中国典型城市群 6 个代表性城市(北京、天津、上海、广州、武汉和重庆)为案例,采用因素分解法将碳排放的影响效应分解为 4 部分,包括人口规模效应、经济发展效应、能源强度效应和碳强度效应,研究 2000—2014 年城镇化过程中碳排放的驱动机制。主要结果:(1)各城市群的经济总量均有增长,能源效率逐渐提高,碳排放强度在北京、上海和重庆的是下降趋势,在天津呈上升趋势,而在广州和武汉则趋于平稳状态,各城市群能源消耗中各种能源的比重和碳排放量的变化存在着较显著的差异性;(2)天津和广州的 4 个碳排放影响效应整体上是逐渐增大,北京和上海是趋于平稳对称,武汉和重庆是先减小后增大。研究表明,经济和人口对碳排放具有正向作用,能源强度对碳排放具有负向作用。通过研究中国典型城市群碳排放的驱动因子,有助于城市群碳排放权交易的政策制定以及城市群发展模式规划。

关键词:城市群;城镇化;碳排放;驱动因子

Carbon emissions from urbanization in typical urban agglomerations of China: Spatial patterns and drivers

SU Wangxin[1,2], SUN Ranhao[1,*]
1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology*, *Research Center for Eco-environmental Sciences*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijng* 100085, *China*
2 *College of Tourism*, *Guilin University of Technology*, *Guilin* 541004, *China*

Abstract: In order to participate in global competition and international cooperation, urban agglomeration serves as the main geographical unit to promote China's new urbanization in recent years. This study investigated the driving mechanism of carbon emissions during the rapid urbanization over the past 15 years (2000—2014) in China. We selected six representative cities in typical urban agglomerations including Beijing, Tianjin, Shanghai, Guangzhou, Wuhan, and Chongqing. The factor decomposition method was used to quantify the spatial patterns and drivers of carbon emissions. Four factors were used to analyze the driving mechanism for carbon emissions, including the population scale effect, economic development effect, energy intensity effect, and energy structure effect. Another four factors were calculated to quantify the urbanization characteristics in these cities, including the carbon emission intensity, energy intensity of economic activity, per capita GDP, and year-end total population. The results showed that the total economic levels in all urban agglomerations are growing and the energy efficiency is improved stably. These urban agglomerations have different proportions of energy sources and significant changes in carbon emissions. The intensity of carbon emissions declined in the cities of Beijing, Shanghai, and Chongqing whereas it increased in Tianjin. Comparably, the intensity of carbon emissions was stable in Guangzhou and Wuhan. Secondly, the results showed that the income effect and population effect in urban agglomerations

基金项目:国家自然科学基金项目(41471150, 41590841)
收稿日期:2017-02-22; **网络出版日期**:2017-12-19
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: rhsun@ rcees.ac.cn

have positive effects on the driving mechanism of carbon emissions whereas energy intensity has negative effects. We also note that the carbon intensity of carbon emissions remains uncertain. Generally, the effects of four driving factors on carbon emissions increased gradually from 2000 to 2014 in Tianjin and Guangzhou. These effects were stable in Beijing and Shanghai during this period. Interestingly, the cities of Wuhan and Chongqing have a curve trend with a decrease at first and then an increase. This study focused on the driving factors of carbon emissions in typical urban agglomerations of China. The results help to support policy-making on carbon-emissions trading in urban agglomerations and provide practical strategies for urban agglomeration management.

Key Words: urban agglomeration; urbanization; carbon emission; driving factor

作为生产、生活和人口的集聚地,城市是能源消费的主体[1]。城市群作为推进国家新型城镇化的战略举措,是国家参与全球竞争与国际分工的主要地域单元,具有规模效应、集聚效应、辐射效应和联动效应[2-4]。现阶段,我国正处于城市化和工业化的快速发展阶段,城镇化进程中的人口转移对能源资源和碳排放的冲击是显而易见的,经济增长对能源消费的刚性需求也将会保持高位增长态势,由此产生的碳排放将会对经济、社会和环境的持续发展形成较大压力[5-6]。IEA(2009)数据显示 2007 年中国成为世界上碳排放最大的国家,中国面临着巨大的减排压力,2015 年巴黎气候大会中国在"国家自主贡献"中承诺碳排放强度减排目标,即 2030 年单位国内生产总值 CO_2排放比 2005 年下降 60%—65%。那么如何在推进新型城镇化的过程中,不断优化城镇化发展格局,提升城镇化的发展质量,建立一种益于节约能源和资源的发展模式,降低城镇化的资源和环境成本,走低碳发展道路,是现今面对的严峻问题。

目前对于能源使用导致的碳排放的驱动因素有多种不同的分析方法,例如因素分解法、向量自回归法、相关性分析法等[7]。因素分解法包括结构分解法(SDA)和指数分解法(IDA)。指数分解法(IDA)是对各个解释变量的微分展开的一种分析方法,其中的 Laspeyres 指数分解法和 Divisia 指数分解法是能源研究领域应用普及率最高的两种研究方法[8-10]。Laspeyres 指数测量的是某一领域一组条目在历史上的百分率变化情况,使用的权重是根据基期的价值确定的,主要包括修正的 Fisher 理想指数和 Shapley/Sun 方法。Laspeyres 指数法在 20 世纪 70 年代末、80 年代初得到广泛应用,该方法的主要优点是简单直观、易于理解、便于操作[11-12]。

国际上对城市化和碳排放的研究主要分为发达国家城市低碳转型和发展中国家低碳城市化两类[13-14]。相关研究认为人口的城市集聚、城市化生活方式以及城市形态等都是影响城市碳排放的驱动因素[15-16],碳排放强度是评价一个国家或地区碳减排效果的理想指标[17],能源强度是分析人类行为对气候变化影响的主要指标[18],也有研究认为一个国家或地区碳排放的推动力有 4 大因素[19],即人口、人均 GDP、单位 GDP 的能源用量、单位能源用量的碳排放量。国内碳排放研究始于 20 世纪 90 年代,关于能源消耗、碳排放的研究,多数是在国家尺度、省域尺度上进行[20-22],而以城市群作为对象的研究还比较缺乏,对典型城市群城市碳排放的对比分析较少[1]。因此,本研究以中国五大城市群主要城市为研究对象,分析人口、经济、能源结构和能源强度对城市碳排放的影响,为城市群碳排放权交易的政策制定以及城市群发展模式研究提供保障。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

选取长三角城市群的上海市、珠三角城市群的广州市、京津冀城市群的北京市和天津市、长江中游城市群的武汉市和成渝城市群的重庆市为研究对象。2000—2014 年市辖区年末总人口、市辖区地区生产总值、市辖区人均地区生产总值、三产业占地区生产总值的比重等来源于《中国城市统计年鉴(2001—2015)》,统计数据"市辖区"包括所有城区,不包括辖县和辖市;统计人口为年末户籍人口。能源消耗总量、各种能源的消耗量(煤炭、焦炭、石油、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气和天然气)数据来自《中国能源统计年鉴(2001—2015)》,统计数据均为终端消费量。

1.2　研究方法

世界能源需求的 80%—85%来源于化石燃料,80%—90%的碳排放来源于化石燃料能源消耗[23]。因此,化石燃料能源所产生的碳排放是碳排放研究的重点。目前,碳排放量的测算方法主要有实测法、物料衡算法和排放系数法等[24],因排放系数法公认程度高、数据较易获得[25],在学术界中应用最多。在碳排放系数的确定方面,各个机构和学者的标准各不相同,本文采用的碳排放系数如表 1 所示。碳排放量的测算选取煤炭、焦炭、石油、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气和天然气等 10 类主要化石能源,以各类能源的消费总量乘以各自的平均低位发热量与 CO_2 排放系数获得 CO_2 的排放量,表达式如下:

$$C = \sum_{i=1}^{10} (CO_2)_i = \sum_{i=1}^{10} E_i \times NCV_i \times CEF_i$$

式中,C 为各类化石能源 CO_2 排放总量;NCV_i 表示第 i 种能源的平均低位发热量,单位是 KJ/kg;CEF_i 表示第 i 种能源 CO_2 排放系数,单位是 t-C/TJ。

表 1　各类能源的平均低位发热量与二氧化碳排放系数[26]

Table 1　Average net calorific value and carbon dioxide emission coefficient [26]

燃料类型 Fuel types	发热量 Calorific value	二氧化碳排放系数/(t-C/TJ) Carbon emission factor	燃料类型 Fuel types	发热量 Calorific value	二氧化碳排放系数/(t-C/TJ) Carbon emission factor
煤炭 Raw coal	20.93 KJ/Kg	26.8	柴油 Diesel oil	42.71 KJ/Kg	20.2
焦炭 Coke	28.47 KJ/Kg	29.5	燃料油 Fuel oil	41.87 KJ/Kg	21.1
原油 Crude oil	41.87 KJ/Kg	20.0	液化石油气 LPG	50.24 KJ/Kg	17.2
汽油 Gasoline	43.12 KJ/Kg	18.9	天然气 Natural gas	38.98 KJ/m^3	15.5
煤油 Kerosene	43.12 KJ/Kg	19.6			

本文采用的是完全分解模型,由 Sun 在 1998 年提出[26],按照 Dhakal[27] 中的方法计算能源使用的碳排放量,研究能源使用导致碳排放的驱动因素。将 15 年的统计资料每 2a 作为一个时间点共分 7 个时间段(2000—2002 年、2002—2004 年、2004—2006 年、2006—2008 年、2008—2010 年、2010—2012 年、2012—2014 年),差分解求 4 个影响碳排放的驱动因子效应。

$$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{GRP} \times \frac{GRP}{P} \times P = CI \times EI \times PC \times P \tag{1}$$

式中,C 为总的碳排放量(千 t);E 为最终能源消费量(t 标准煤);GRP 为地区生产总值(百万元);P 为年末总人口数(百万);C/E 为碳强度效应(CI);E/GRP 能源强度效应(EI);GRP/P 为人均地区生产总值(PC)。CI、EI、PC 和 P 是解释变量。从 t 年到 0 年排放量的增加值为:

$$C_t - C_0 = CI_t \times EI_t \times PC_t \times P_t - CI_0 \times EI_0 \times PC_0 \times P_0 \tag{2}$$

$$CI\ \text{effect} = \Delta CI \times EI_0 \times PC_0 \times P_0 + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times P_0 + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times EI_0 \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times EI_0 \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times EI_0 \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{4} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P$$

$$EI\ \text{effect} = CI_0 \times \Delta EI \times PC_0 \times P_0 + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times P_0 + \frac{1}{2} \times CI_0 \times \Delta EI \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{2} \times CI_0 \times \Delta EI \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{3} \times CI_0 \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{4} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P$$

$$\text{Income effect} = CI_0 \times EI_0 \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times P_0 + \frac{1}{2} \times + \Delta CI \times EI_0 \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{2} \times CI_0 \times EI_0 \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times P_0 + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times EI_0 \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{3} \times CI_0 \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{4} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P$$

$$\text{Population effect} = CI_0 \times EI_0 \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{2} \times \Delta CI \times EI_0 \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{2} \times CI_0 \times \Delta EI \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{2} \times CI_0 \times EI_0 \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times \Delta EI \times PC_0 \times \Delta P + \frac{1}{3} \times \Delta CI \times EI_0 \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{3} \times CI_0 \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P + \frac{1}{4} \times \Delta CI \times \Delta EI \times \Delta PC \times \Delta P$$

$$C = CI \text{ effect} + EI \text{ effect} + \text{Income effect} + \text{Population effect}$$

2 结果分析

2.1 城市化特征分析

碳排放强度 CI 是衡量能源利用质量和碳排放效率的一个重要指标,用单位能耗的碳排放量来表征,其作为一个正向指标碳排放强度 CI 值越大,说明碳排放就越多。相关研究表明能源强度、能源类型和经济结构等因素都会影响碳排放强度[28-30]。由图 1a 可知,碳排放强度 CI 在北京、上海、重庆的趋势是下降的,在天津的趋势是上升的,而在广州和武汉是趋于平稳的状态,说明各城市群能源消耗中各种能源的比重和碳排放量的变化存在着较显著的差异性。

经济活动的能源强度 EI 用单位地区生产总值的能耗来表示,是衡量一个国家或地区能源使用效率的重要指标之一[31]。一般来说,能源强度的不断降低与技术进步、能源结构改善等有密切的关系。由图 1b 可知,15 年间各大城市群的能源强度的整体趋势在下降,且城市群之间能源强度的差距在逐渐缩小,能源强度 EI 作为一个逆向指标,说明各大城市群的能源效率在逐渐提高。中国目前正处于经济快速增长的城市化与工业化进程中,通过提高能源使用效率来避免不必要的浪费和降低能源强度,从而延长既定供给量下的能源使用期及实现可持续发展。

人均地区生产总值 PC 可以表示一个经济体大致所处的经济发展阶段,不同的经济发展阶段有着不同的能源消费特征。中国目前处于快速城市化与工业化阶段,经济发展迅速,能源需求总量大、增速快且呈刚性特征[32]。由图 1c 可知,人均地区生产总值 PC 呈倍数级增长,广州、北京、上海和天津的增速基本一致,增速较快,武汉次之,最后是重庆。说明各大城市群的经济宏观上都在增长,可能是影响碳排放的因素。

在数据期间的人口总数变量是一个相对稳定的值,然而城市化的人口冲击非常明显,有研究认为人口变动、经济发展和技术变动等都是人类影响气候变化的决定因素,人口老化、城市化、家庭规模缩小等都是影响未来气候变化的重要人口因素[33]。为了充分展示城市化人口转移带来的能源和碳排放影响,人口总数变量 P 用城市人口数量来代替。由图 1d 可知,人口 P 呈现平稳的增长态势,重庆市由于人口基数较大,而单独成组,北京、上海、天津、广州和武汉的人口基数基本相当,人口增速基本一致。

2.2 碳排放的驱动效应分析

(1)城市群碳排放驱动效应的总体分析

各个城市群的经济效应、能源强度效应对碳排放的驱动效应都非常明显。如图 2 所示,人口规模效应对各城市群碳排放增长有正向影响,但其贡献率较其他效应低一些。经济效应在各城市群中均处于正向效应,能源强度效应均处于负向效应(除重庆市第 2、3 段,武汉市的第 2 段),两者的驱动影响因子非常的显著,说明经济的增长对碳排放是具有促进作用的,能源强度对碳排放是具有抑制作用的,这与多数研究结论一

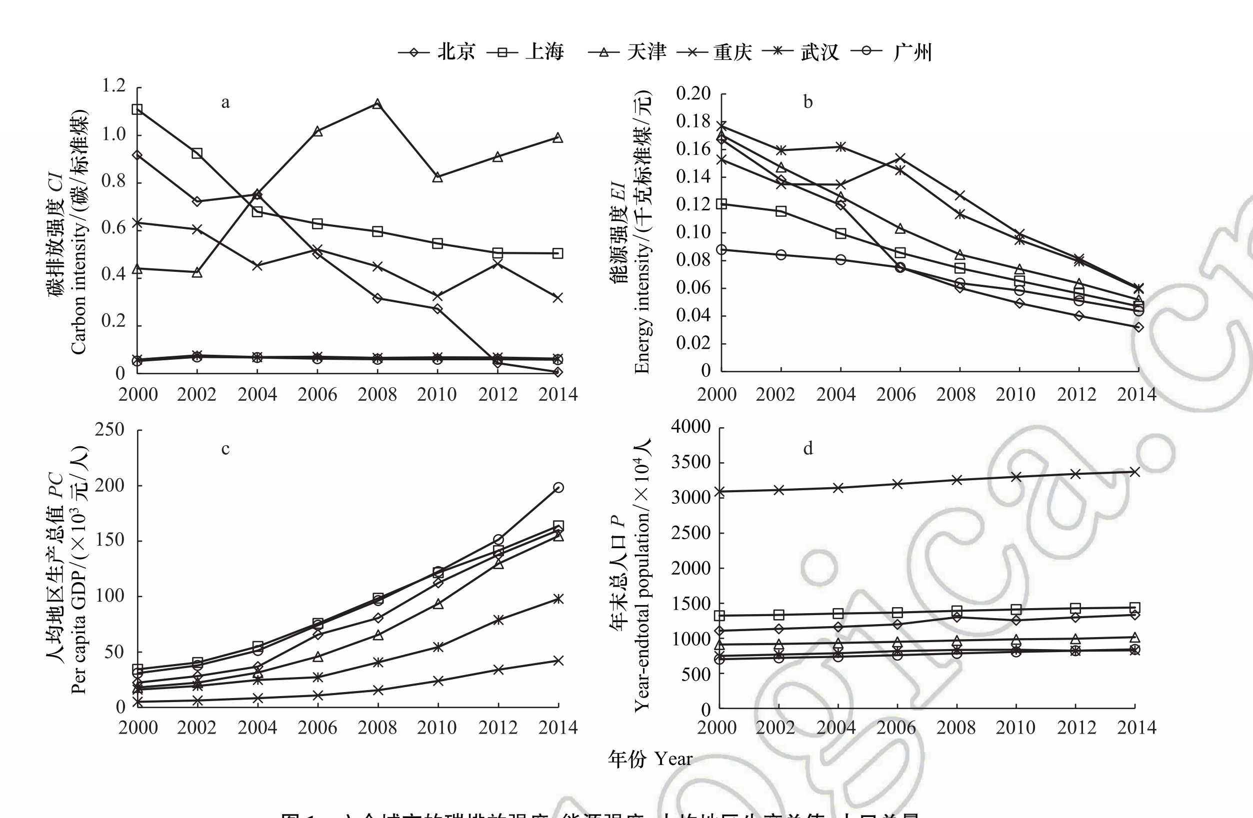


图 1 六个城市的碳排放强度、能源强度、人均地区生产总值、人口总量

Fig.1 Carbon intensity, Energy intensity, per capita GRP, Total population in the six cities

(广州市和武汉市的 *CI* 用其所在的广东省和湖北省的数据来代替)

致[34-36]。碳强度效应在各大城市群之间是有正向有负向,正负间波动变化比较大,碳强度效应对碳排放的影响具有不确定性。近年来各大城市群均面临着人口规模快速增加的问题,城市基础设施、房屋建设中消耗的钢筋水泥等都需要消耗大量能源,并且在城市化的过程中人们的消费规模和消费习惯也发生着巨大的改变,这些因素都会导致能源消耗及碳排放的增加。相比其他 3 个影响效应,人口效应对碳排放的驱动效应波动不是很大,均处于一个相对平稳的变化态势,除北京的第 5 段(2008—2010 年段)和武汉的第 6 段(2010—2012 年)之外均处于正向,说明人口效应对碳排放是具有促进作用的。

(2)不同城市的碳排放驱动因素

由图 2 可以看出,天津和广州的 4 个碳排放的影响效应整体上呈现增长趋势,北京和上海的 4 个碳排放的影响效应趋于平稳;武汉和重庆的 4 个碳排放的影响效应在整体上是先减小后增大。各城市群碳排放的经济效应相对比较明显,且出现了拐点。各城市群的能源强度效应对碳排放的影响在逐渐增大,上海市的能源强度效应在各大城市群中的影响为最大,广州市的最小。北京、上海和天津的 4 个碳排放的影响效应在整体上要比广州、武汉和重庆的 4 个碳排放的影响效应更加显著。各大城市群中的人口规模效应对碳排放的正向驱动效应处于一个平稳的状态,相对其他 3 个驱动效应,其对碳排放的影响效应也最小。

(3)城市碳排放驱动要素的时间特征

北京市的第 3 段(2004—2006 年),经济效应和能源强度效应均出现了较大的转折波动,其余时间段二者的波动趋于相对较平稳的水平。天津市的经济效应对碳排放的驱动效应最大,在第 6 段(2010—2012 年)出现了正向峰值拐点,碳强度效应在第 5 段(2008—2010 年)出现了正向的转变,能源强度效应对碳排放的驱动效应在逐渐增大。值得注意的是,在第 5 段(2008—2010 年)人口规模效应的波动较大,原因在于北京市的常住人口中外来务工人员所占比例较大,并随着经济波动而变化。

上海市在 2000—2015 年间,经济效应是促进碳排放增长的主导因素,能源强度是抑制碳排放增长的关键因素,这与相关研究结果一致[37]。经济效应在第 3 段(2004—2006 年)出现拐点,影响效应开始逐渐下降,能

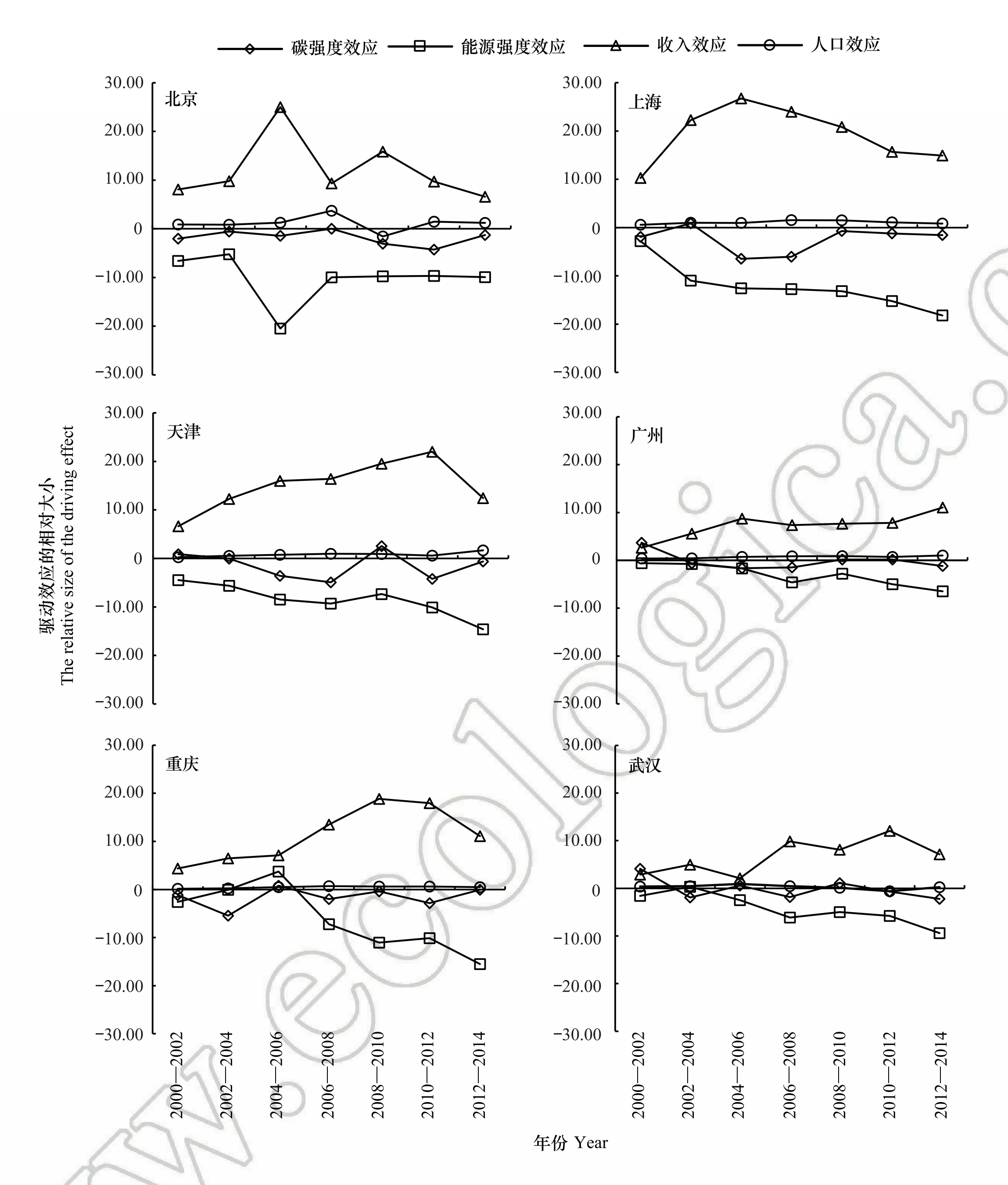


图 2 6 个城市的碳强度效应、能源强度效应、经济效应和人口效应

Fig.2 *CI* effect, *EI* effect, Income effect and Population effect in the six cities

源强度效应则处于持续增长状态。产业结构、能源结构的优化有利于控制碳排放,而重工业化与能源结构的高碳化则会增加碳排放。因此在能源强度下降的同时,调整产业结构和能源结构对上海市碳减排至关重要[38]。

重庆市 2000—2006 年能源强度的抑制贡献值与经济效应的拉动贡献值之间的差距逐渐缩小,2006 年以后经济发展使抑制贡献值与拉动贡献值之间的差距又不断扩大,使经济效应成为首要的碳排放促进因素。经济效应呈现先增加后降低的情况,且在 2008—2010 年段出现了拐点。能源强度效应,对重庆市碳排放的影响效应总体上为负值。有研究表明,人口数量对重庆市能源消费碳排放量影响最大。第三产业比重每增加 1%,能源消费碳排放将会减少 0.093%[39]。

武汉市的经济效应和能源强度效应对碳排放具有显著影响。武汉市的经济效应处于折线上升的态势,可

能与城市经济跨越式增长有关系[40]。碳强度效应处于正负间折线波动的状态,说明碳强度效应对碳排放的影响具有很强的不确定性。2000—2006 年能源强度的抑制贡献值与经济效应的拉动贡献值之间的差距逐渐缩小,2006 年以后经济发展使抑制贡献值与拉动贡献值之间的差距又不断扩大,导致城市总体碳排放的增长。

广州市的经济效应处于梯形上升的态势,说明经济效应对城市碳排放的影响在逐渐增大。人口效应整体趋于平稳的正效应状态,碳强度效应处于正负间折线波动的状态,说明碳强度效应对碳排放的影响具有不确定性。能源强度效应的绝对值的总体趋势是在增大的。2006—2008 年段,经济效应下降的主要原因在于加入 WTO 以来广东省通过大量吸引外商投资来嵌入全球价值链分工体系,实施出口导向的发展战略,从而获得了大量的"全球化红利"[41]。自 2008 年全球金融危机爆发以来,受到外需萎缩和国内要素价格不断攀升的影响,广东省的出口贸易规模锐减,部分中小企业倒闭或停产,从而导致其能源消耗增量降低、能源消费的碳排放增量有所下降。

3　讨论

现有对于城市碳排放的研究多以单因素分析为主,包括城市化过程中人口和经济增长、城市扩张、低碳技术进步和体制政策创新,以及城市所依赖的能源结构等[42-45]。碳排放核算主要包括生产和消费两方面,生产碳排放账户包括工业、建筑业、交通运输业及商业等方面,消费碳排放账户涵盖人类衣、食、住、行、娱乐的相关活动[36,46-49]。在碳排放测算方面,由于测算方法、碳排放系数标准和能源统计口径均有不同,使得碳排放测算结果不一致[24]。因素分解法以各个要素之间的数学关系进行解剖,探讨经济、人口、产业结构、能源结构、国际贸易、外商直接投资等对碳排放的影响。本案例研究表明,该方法能够为碳排放的驱动因子和贡献提供可行的方法支撑。

本文因素分解的能源强度因素,6 个城市均处于下降接近的状态,能源强度效应在碳排放方面具有负向作用,因而可以在促进我国典型城市群的节能减排时进一步完善和优化各地区的能源结构,提高能源的利用效率。因素分解的人均地区生产总值因素,6 个城市均处于增长状态,收入效应在碳排放方面具有正向作用,可通过加快产业结构的优化升级,建立城市群低碳法律体系,完善节能减排的市场化机制,加强城市群间科技研发的联动支持力量等措施来促进城市群节能减排的实施,同时为后续城市的发展提供更加可持续的空间。

本文仅限于整体城市问题的研究,并未考虑到城市土地利用的变化。相关研究表明全球能源相关 CO_2 排放的年平均占有率只有 85%,剩余的 15%是来自土地利用变化[50],本研究尚有改进空间。生物燃料、新型能源等的能源消耗碳排放并未计算在内,也没有分部门和分产业的进行碳排放的计量。在后续的研究中,拟进一步完善城市土地利用变化对城市碳排放的影响,加强分行业碳排放研究;进而对碳排放驱动机制开展多学科联合研究,深入了解碳排放的影响因素、作用机制和演变过程,积极研究不同区域的碳排放差异特征及其成因,提出科学合理的碳减排政策以及相应的保障技术。

4　结论

(1)各城市群能源消耗中各种能源的比重和碳排放量的变化存在着显著的差异性;各城市群的能源强度在逐渐降低,且城市群之间能源强度的差距在逐渐缩小;各大城市群的人均地区生产总值 PC 呈倍数级增长,人口 P 呈平稳增长。

(2)15 年间的 7 个时间段内北京、天津、上海、广州、武汉和重庆的经济效应、碳强度效应、能源强度效应对碳排放的驱动效应都非常明显。其中经济效应和人口效应具有正向效应,也即经济的增长和人口增加都对碳排放是具有促进作用的;能源强度效应具有负向效应,也即能源强度对碳排放是具有抑制作用的;而碳强度效应对碳排放的影响则具有不确定性。

(3)各城市群的经济效应总体上都出现了拐点,能源强度效应都在增大,不同的城市群的四个碳排放的

影响效应(能源强度效应、碳排放效应、经济效应和人口效应)存在着明显的差异性。广州和天津的 4 个碳排放的影响效应整体上是逐渐增大;北京和上海的 4 个碳排放的影响效应趋于平稳对称;武汉和重庆的四个碳排放的影响效应是先减小后增大。

参考文献(References):

[1] 滕飞, 刘毅, 金凤君. 中国特大城市能耗变化的影响因素分解及其区域差异. 资源科学, 2013, 35(2): 240-249.

[2] Gottmann J. Megalopolis or the urbanization of the northeastern seaboard. Economic Geography, 1957, 33(3): 189-200.

[3] 王丽, 邓羽, 牛文元. 城市群的界定与识别研究. 地理学报, 2013, 68(8): 1059-1070.

[4] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. 地理学报, 2014, 69(8): 1130-1144.

[5] 孙昌龙, 靳诺, 张小雷, 杜宏茹. 城市化不同演化阶段对碳排放的影响差异. 地理科学, 2013, 33(3): 266-272.

[6] 郭郡郡, 刘成玉, 刘玉萍. 城镇化、大城市化与碳排放——基于跨国数据的实证研究. 城市问题, 2013, (2): 2-10.

[7] Yuan W, James P. Evolution of the Shanghai city region 1978-1998: an analysis of indicators. Journal of Environmental Management, 2002, 64(3): 299-309.

[8] 王锋, 吴丽华, 杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究. 经济研究, 2010, (2): 123-136.

[9] 周五七, 聂鸣. 碳排放与碳减排的经济学研究文献综述. 经济评论, 2012, (5): 144-151.

[10] Dhakal S, Kaneko S, Imura H. An analysis on driving factors for CO_2 emissions from energy use in Tokyo and Seoul by factor decomposition method. Environmental Systems Research, 2002, 30: 295-303.

[11] 陈诗一. 中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释. 世界经济, 2011, (4): 124-143.

[12] 胡剑波, 任亚运, 郭风. 国际贸易碳排放指数分解法研究综述. 环境科学与技术, 2016, (10): 69-72.

[13] Glaeser E L, Kahn M E. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development. Journal of Urban Economics, 2010, 67(3): 404-418.

[14] Marcotullio P J, Hughes S, Sarzynski A, Pincetl S, Peña L S, Romero-Lankao P, Runfola D, Seto K C. Urbanization and the carbon cycle: contributions from social science. Earth's Future, 2014, 2(10): 496-514.

[15] Batten D F. Network cities: creative urban agglomerations for the 21st Century. Urban Studies, 1995, 32(2): 313-327.

[16] Borrego C, Martins H, Tchepel O, Salmim L, Monteiro A, Miranda A I. How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. Environmental Modelling & Software, 2006, 21(4): 461-467.

[17] Sun J W. The decrease of CO_2 emission intensity is decarbonization at national and global levels. Energy Policy, 2005, 33(8): 975-978.

[18] Ang B W. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? Energy Policy, 1999, 27(15): 943-946.

[19] Yoichi K. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.

[20] 胡建辉, 蒋选. 城市群视角下城镇化对碳排放的影响效应研究. 中国地质大学学报: 社会科学版, 2015, 15(6): 11-21.

[21] 杨骞, 刘华军. 中国二氧化碳排放的区域差异分解及影响因素——基于 1995—2009 年省际面板数据的研究. 数量经济技术经济研究, 2012, (5): 36-49, 148-148.

[22] Wang S J, Fang C L, Guan X L, Pang B, Ma H T. Urbanisation, energy consumption, and carbon dioxide emissions in China: a panel data analysis of China's provinces. Applied Energy, 2014, 136: 738-749.

[23] Green C. Potential scale-related problems in estimating the costs of CO_2 mitigation policies. Climatic Change, 2000, 44(3): 331-349.

[24] 谢守红, 王利霞, 邵珠龙. 国内外碳排放研究综述. 干旱区地理, 2014, 37(4): 720-730.

[25] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 7-14.

[26] Sun J W. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. Energy Economics, 1998, 20(1): 85-100.

[27] Dhakal S. Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. Energy Policy, 2009, 37(11): 4208-4219.

[28] Zheng S Q, Wang R, Glaeser E L, Kahn M E. The greenness of China: household carbon dioxide emissions and urban development. Journal of Economic Geography, 2011, 11(5): 761-792.

[29] 赵志耘, 杨朝峰. 中国碳排放驱动因素分解分析. 中国软科学, 2012, (6): 175-183.

[30] 李湘梅, 姚智爽. 基于 VAR 模型的中国能源消费碳排放影响因素分析. 生态经济, 2014, 30(1): 39-44.

[31] 程叶青, 王哲野, 张守志, 叶信岳, 姜会明. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量. 地理学报, 2013, 68(10): 1418-1431.

[32] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略. 经济研究, 2010, (8): 66-78.

[33] 蒋耒文. 人口变动对气候变化的影响. 人口研究, 2010, 34(1): 59-69.

[34] Kang J D, Zhao T, Ren X S, Lin T. Using decomposition analysis to evaluate the performance of China's 30 provinces in CO_2 emission reductions over 2005-2009. Natural Hazards, 2012, 64(2): 999-1013.

[35] Satterthwaite D. The implications of population growth and urbanization for climate change. Environment and Urbanization, 2009, 21(2): 545-567.

[36] Zhang Y J, Liu Z, Zhang H, Tan T D. The impact of economic growth, industrial structure and urbanization on carbon emission intensity in China. Natural Hazards, 2014, 73(2): 579-595.

[37] 汪宏韬. 基于 LMDI 的上海市能源消费碳排放实证分析. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 143-146.

[38] Li L, Chen C H, Xie S C, Huang C, Cheng Z, Wang H L, Wang Y J, Huang H Y, Lu J, Dhakal S. Energy demand and carbon emissions under different development scenarios for Shanghai, China. Energy Policy, 2010, 38(9): 4797-4807.

[39] 黄蕊, 王铮. 基于 STIRPAT 模型的重庆市能源消费碳排放影响因素研究. 环境科学学报, 2013, 33(2): 602-608.

[40] 杨欣, 蔡银莺, 张安录. 武汉城市圈碳排放的时空格局及影响因素分解研究——基于 2001—2009 年市级面板数据的实证. 长江流域资源与环境, 2013, 22(11): 1389-1396.

[41] 张捷, 石柳, 赵秀娟. 广东省终端能源消费碳排放增长的驱动因素. 技术经济, 2014, 33(5): 64-71.

[42] 秦耀辰, 张丽君, 鲁丰先, 闫卫阳, 王喜. 国外低碳城市研究进展. 地理科学进展, 2010, 29(12): 1459-1469.

[43] Dhakal S. GHG emissions from urbanization and opportunities for urban carbon mitigation. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2010, 2(4): 277-283.

[44] 吴婵丹, 陈昆仑. 国外关于城市化与碳排放关系研究进展. 城市问题, 2014, (6): 22-27.

[45] Wang Y F, Zhao H Y, Li L Y, Liu Z, Liang S. Carbon dioxide emission drivers for a typical metropolis using input-output structural decomposition analysis. Energy Policy, 2013, 58: 312-318.

[46] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响. 经济研究, 2010, (4): 120-133.

[47] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 15-20.

[48] 李锴, 齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放. 经济研究, 2011, (11): 60-72, 102-102.

[49] 宋德勇, 易艳春. 外商直接投资与中国碳排放. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(1): 49-52.

[50] Le Quéré C, Raupach M R, Canadell J G, Marland G, Bopp L, Ciais P, Conway T J, Doney S C, Feely R A, Foster P, Friedlingstein P, Gurney K, Houghton R A, House J I, Huntingford C, Levy P, Lomas M R, Majkut J, Metzl N, Ometto J, Peters G P, Prentice I C, Randerson J T, Running S W, Sarmiento J L, Schuster U, Sitch S, Takahashi T, Viovy N, Van Der Werf G R, Woodward F I. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. Nature Geoscience, 2009, 2(12): 831-836.